Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí

Carme JAUME i Joan J. FORNÓS

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Jaume, C i Fornós, J.J. 1992. Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 35: 93-110. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

L'estudi dels sediments de les platges de Mallorca ha permès descriure les característiques texturals i la composició de les arenes i les graves que es troben al seu litoral. La mida de gra arena (0,063-2,0 >2mm) predomina a la majoria de les platges estudiades, excepte algunes on les graves (>0,063 mm) representen un percentatge molt baix a tot el litoral. La composició mitjana de les arenes i graves està formada per un 70% de material bioclàstic (foraminífers i mol·luscs principalment) i la resta per elements terrígens (litoclastes calcaris pràcticament en la seva totalitat). A partir tant de criteris texturals com de composició s'han caracteritzat una sèrie de fàcies sedimentàries, distribuïdes al llarg del litoral i que es correlacionen directament amb les característiques geomorfològiques i litològiques del litoral.

Paraules clau: *platja, sediments, composició biogènica.*

COMPOSTION AND TEXTURE OF BEACH SEDIMENTS OF MALLORCAN SHORES. Beach sediment studies of Mallorcan shores have enabled the determination of textural and compositional characteristics of littoral sands and gravels. Sand (0.063-2.0mm) is the predominant grain size on the beaches, although some are dominated by gravels (>2.0 mm). Fine sediments (<0.063 mm) are present only in very low percentages. Bioclastic grains (mainly foraminifers and molluscan fragments) constitute 70% on average, of sands and gravels. Terrigenous components (calcareous rock fragments) build up the rest of the sediment. Several sedimentary facies have been defined according to textural and compositional parameters. Their distribution is closely related to geomorphological characteristics of their area of deposition.

Keywords: *beach, sediments, biogenic composition.*

Carme JAUME i Joan J. FORNÓS. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Crta. de Valldemossa, km. 7'5. 07071 Palma de Mallorca.

Recepció del manuscrit, 10-set-92. Revisió acceptada, 04-nov-92

Introducció

Encara que des de fa temps és conegut que les arenes que conformen els sediments del litoral mallorquí són eminentment bioclàsiques (Fornós, 1987), fins ara no s'havia fet un estudi detallat global que caracteritzàs, tan des del punt de vista textural com de composició els sediments de les platges de Mallorca.

El litoral és sens dubte un dels ambients més energètics degut tan a l'acció de l'onatge, de les marees, com a l'acció i activitat torrencial (Davis, 1987; Carter, 1988). Les platges representen un equilibri dinàmic que generalment es considera constituït per un gradient en pendent i en grossària de grà del sediment. Els sediments que les constitueixen són les arenes i graves procedents de l'erosió i aportades pels corrents continentals (sediments terrígens) i que són retraballats per la dinàmica marina, i per altra banda sediments de tipus biogènic (bioclastes) (Heckel, 1972; Davis, 1985). Aquests darrers són originats per l'amuntegament de fragments esquelètics, principalment carbonatats, d'organismes (mol·luscs, briozous, algues calcàries, equinoderms, foraminífers, etc.) procedents dels distints medis marins (herbeis de fanerògames com *Posidonia oceanica*, fons d'algues vermelles, concrecions coral·lígenes, etc).

A les acumulacions de sediments litorals podem doncs trobar un predomini d'un o altre tipus, o una mezcla d'ambdós (Carter, 1988). Aquest fet juntament amb les característiques texturals i mineralògiques (Pyokari i Lehtovaara, 1990; Jayappa i Subramanya, 1991; Sagga, 1992) estarà en funció dels processos dominants i de les característiques geomorfològiques de la zona.

Objectius

Els objectius del present treball són la determinació i quantificació de la composició dels sediments acumulats a les platges del litoral mallorquí i la seva anàlisi textural observant la relació amb les característiques geomorfològiques del litoral i interpretant la procedència dels sediments.

Esbós fisiogràfic

La costa mallorquina és molt variable. Així, la costa nord-occidental presenta elevats penya-segats (de l'ordre dels centenars de metres) corresponents a la Serra de Tramuntana, formats per masses de calcàries, dolomies i bretxes carbonatades corresponents principalment al Juràssic inferior, intercal·lades amb nivells margosos i lutítics del Juràssic mig i superior i Miocè inferior; i en menor grau per arenes silíciques, argiles i guixos del Triàsic inferior i superior respectivament. Aquesta costa es caracteritza per una forta dinàmica dels vessants (pendents molt forts) i escases acumulacions, formant platges condicionades per la tectònica de la Serra i relacionades amb la dinàmica torrencial. Penya-segats més abruptes però de menors dimensions (desenes de metres) es troben a les marines de Llevant i de Llucmajor, formats per dipòsits calcarenítics que corresponen a la progradació de les plataformes carbonatades esculloses del Miocè superior (Fornós i Pomar, 1983; Pomar, 1991). Aquesta costa presenta nombroses encara que petites acumulacions de platges, molt condicionades per la dinàmica torrencial. Finalment, la costa baixa del

sud, sudoest i nordest, relacionada amb el reompliment des del Miocè superior de les depressions originades per l'estructuració alpina de l'illa, i relacionades en la seva major part, amb cordons dunars i zones d'aigüamolls i albuferes.

Metodologia

En el present treball s'analitzen un total de 60 mostres superficials recollides al llarg de tot el litoral de l'illa de Mallorca (Fig. 1) a la tardor de l'any 1988. La distància aproximada entre mostres oscil·la entre els 2 i 10 km en funció de les platges presents i longitud de les mateixes.

Les mostres s'han recollit a la platja (estatge interlitoral) a la zona de trencament de les ones i amb una fondària màxima de 15 cm. Al laboratori han estat atacades amb H_2O_2 diluït al 10% durant un mínim de 24 h per tal de dispersar els grans i oxidar la matèria orgànica. Les mostres s'han rentat i secat a l'estufa a 105ºC durant 24 h. L'anàlisi textural s'ha realitzat mitjançant tamisació, separant-se les fraccions majors de 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 i 0.063 mm per tal de realitzar la posterior anàlisi de la composició en la qual s'ha despreciat la fracció lutítica (inferior al 2% en la major part de les mostres). A l'anàlisi de components s'han utilitzat les següents variables: foraminí-

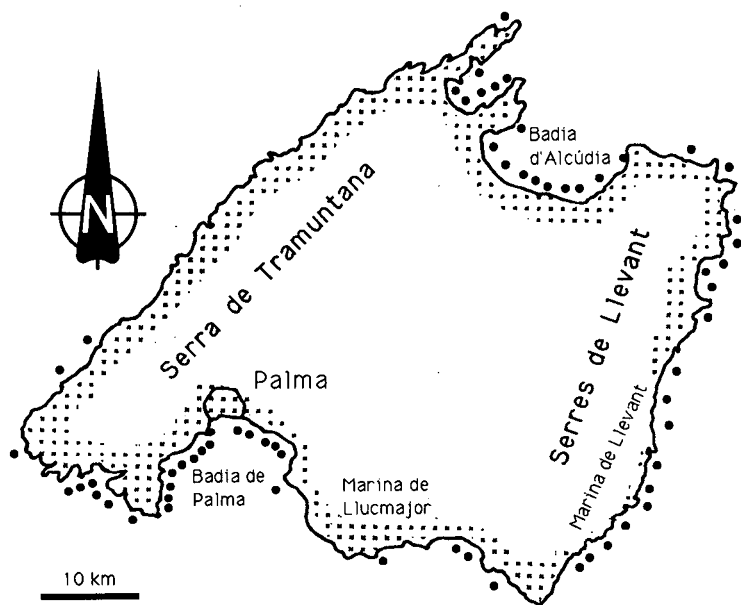


Fig. 1. Localització de les platges d'on s'han recollit les mostres estudiades en el litoral mallorquí.
Location of Majorcan beaches sampled.

fers, bivalves, gasteròpodes briozous, escafòpodes, equínids, restes vegetals, serpúlids, algues calcàries, ostràcodes, carbó, espícules, crustacis, dents, quars, litoclastes calcaris, altres roques i bioclastes indiferenciats endemés de restes antròpics (vidre, materials de construcció, plàstics, etc.). S'han comptat un total de 500 grans per a cada fracció. De cada mostra s'ha realitzat l'anàlisi del contingut en carbonats pel mètode gasomètric (Fornós, 1987).

En el moment de la recollida de mostres es van fer observacions referents a l'entorn: amplada i longitud de la platja, pendent, grau d'arrodoniment dels còdols, restes d'organismes (fulles mortes de *Posidonia,* etc), tipus de reraplatja (*backshore*), tipus de vegetació, etc. Totes les dades obtingudes han estat elaborades estadísticament, obtenint els paràmetres estadístics elementals, tant de les dades texturals (Corrales *et al.*, 1977) com de composició i s'ha realitzat l'anàlisi de components principals per a caracteritzar les diferents fàcies sedimentàries.

Resultats

Textura dels sediments de platja

La fracció arena és la més representada en el medi litoral de Mallorca (Taules 1 i 2). En un 78% de les mostres estudiades (Taula 1) el percentatge que correspon a la fracció arena és superior al 90% (Taula 2). La resta de les mostres té un percentatge d'arena variable, i els valors més baixos es situen entre el 15 i 35%, i corresponen a mostres on predomina la fracció superior als 2 mm (graves).

La fracció lutítica està present a quasi totes les mostres recollides, però amb valors molt baixos (Taules 1 i 2). El 66% de les mostres estudiades presenten un percentatge inferior al 1% i, a dues de les mostres amb major proporció de graves, la fracció lutítica no apareix. La resta de les mostres tenen percentatges que varien entre 1% i 3.5%.

Les graves són la fracció que presenta una distribució més variada (Taules 1 i 2). A la major part de les mostres recollides (70%), les graves presenten un percentatge inferior al 1%. En canvi, trobam una sèrie de mostres on les graves són predominants, amb valors que superen el 62% i fins a un màxim del 84%.

La maduresa del sediment mesurada pels paràmetres texturals ens indiquen que el grau de selecció (*sorting "So"*) és bó, anant des de valors de 1.15 fins a uns màxims de 2.15. L'asimetria (*skewness "SK"*) és positiva, amb valors que oscil·len entre 0.03 i 0.75. L'angulositat de les corbes (*kurtosis "K"*) és platicúrtica, amb valors de 0.02 fins a 0.38.

Composició dels sediments de platja

La composició dels sediments de platja del litoral de l'illa de Mallorca és eminentment bioclàstica (Taules 2 i 3). un 70.3% dels elements que composen els sediments corresponen a restes esquelètiques d'organismes. La resta, un 29.7% corresponen a elements terrígens, dels quals pràcticament la totalitat corresponen a litoclastes carbonatats.

Dins dels elements bioclàstics els grups que aporten un major percentatge són els bivalves i els foraminífers, aquest darrers casi en la seva totalitat bentònics, amb valors que oscil·len al voltant del 10% de mitjana. En un segon ordre s'hi troben gasteròpodes, briozous, equínids i algues vermelles, amb valors mitjos entre 1 i 5%, i en un tercer ordre amb percen-

Mostra	% Grav.	% Aren.	% Lut.	So	Sk	K	$CaCO_3$
000	74,94	24.94	0,11	1,41	0,70	0,37	89,9
001	77,32	22,37	0,31	1,31	0,65	0.29	93,5
002	73,65	26,19	0,16	1,41	0,67	0.29	93,5
003	0,04	99,14	0,81	1,41	0,07	0,30	84,5
004	0,08	99,34	0,58	1,45	0,06	0,25	85,4
005	3,56	95,21	1,23	1,37	0,07	0,17	80,9
006	0,00	99,24	0,75	1,41	0,05	0,27	91,7
007	18,23	80,98	0,79	1,21	0,10	0,02	86,3
008	0,04	99,23	0,72	1,15	0,09	0,25	73,7
009	0,00	98,16	1,84	1,24	0,07	0,23	90,8
010	0,04	99,12	0,83	1,29	0,11	0,21	91,7
011	0,56	97,86	1,58	1,36	0,05	0,21	82,7
012	78,43	21,46	0,11	1,25	0,75	0,19	80,0
013	0,08	99,31	0,61	1,21	0,10	0,25	71,9
014	0,09	99,28	0,63	1,41	0,13	0,26	89,0
015	18,09	81,60	0,31	1,63	0,35	0,21	76,4
016	3,73	95,65	0,62	1,13	0,16	0,16	61,1
017	62,25	37,71	0,04	1,54	0,62	0,37	48,5
018	0,09	99,11	0,80	1,41	0,07	0,27	79,1
019	1,16	97,99	0,85	1,41	0,06	0,23	77,3
020	20,13	78,96	0,91	2,15	0,30	0,17	80,9
021	0,29	98,56	1,15	1,28	0,05	0,23	73,7
022	0,00	98,66	1,34	1,25	0,03	0,21	75,5
023	0,33	99,34	0,33	1,27	0,14	0,26	84,5
024	0,10	98,51	1,39	1,33	0,05	0,15	78,2
025	0,49	98,09	1,42	1,36	0,05	0,20	80,0
026	0,00	96,49	3,51	1,30	0,06	0,28	91,7
027	0,41	98,67	0,92	1,29	0,04	0,17	82,7
028	0,05	99,18	0,77	1,36	0,06	0,27	80,9
029	19,33	79,68	0,99	1,73	0,09	0,04	79,1
030	0,34	99,27	0,39	1,24	0,07	0,19	89,9
031	0,14	99,00	0,86	1,41	0,06	0,29	81,8
032	0,00	99,36	0,64	1,27	0,05	0,23	84,5
033	6,24	93,56	0,20	1,50	0,16	0,14	88,1
034	65,15	34,85	0,00	1,85	0,47	0,38	55,7
035	84,94	15,06	0,00	1,20	0,75	0,25	55,7
036	0,05	99,76	0,19	1,18	0,09	1,25	57,5
037	12,20	87,23	0,57	1,45	0,30	0,25	39,5
038	0,05	97,97	1,98	1,34	0,07	0,30	90,8
039	0,00	98,27	1,73	1,32	0,06	0,25	77,3
040	0,05	98,31	1,64	1,37	0,06	0,29	86,3

(Cont.)

041	0,00	99,37	0,63	1,32	0,06	0,27	71,9
042	0,10	99,56	0,34	1,36	0,05	0,23	70,1
043	0,05	99,75	0,20	1,25	0,10	0,21	84,5
044	0,00	99,45	0,55	1,18	0,08	0,24	89,9
045	0,00	98,76	1,24	1,41	0,07	0,26	80,9
046	9,42	89,87	0,71	1,41	0,06	0,20	86,3
047	0,05	98,68	1,27	1,46	0,06	0,30	92,6
048	0,15	98,60	1,25	1,41	0,06	0,22	89,0
049	0,00	98,50	1,50	1,41	0,06	0,29	71,9
050	0,05	97,79	2,16	1,32	0,04	0,26	82,7
051	0,87	98,31	0,82	1,55	0,12	0,27	91,7
052	0,00	98,61	1,39	1,29	0,05	0,23	77,3
053	0,35	98,01	1,64	1,31	0,05	0,25	73,7
054	0,00	99,66	0,34	1,21	0,11	0,20	82,7
055	0,00	99,21	0,79	1,21	0,10	0,18	86,3
056	3,25	94,65	2,10	1,32	0,06	1,23	82,7
057	0,99	97,28	1,73	1,87	0,26	0,13	86,3
058	0,05	93,29	1,66	1,34	0,05	0,26	84,5
059	21,20	77,96	0,84	1,37	0,07	0,28	71,1

Tabla 1. Paràmetres texturals expresats en percentatge de pés,) % Grav., graves; % Are., arenes; % Lut., lutites; i valors granulomètrics, So, *sorting* o granoselecció; Sk, *skewness* o asimetria; K, *kurtosis* o angulositat de la corba) i químics (% $CaCO_3$, percentatge de carbonat en pés), de les mostres estudiades. *Textural parameters (% weight, % Grav., gravels; % Are., sands; % Lut., lutites; and granulometric, So, sorting, Ks, skewness; K; kurtosis of the curve) and chemical (% weight Ca Co_3) values of samples studied.*

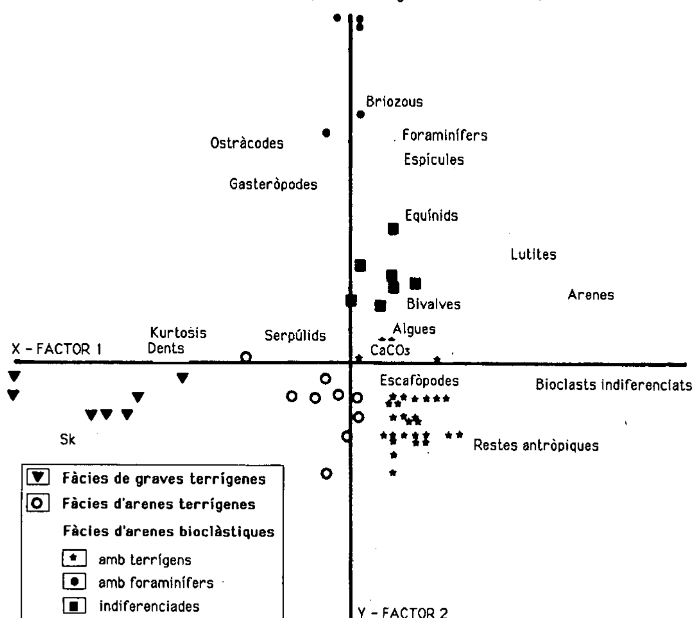


Fig. 2. Representació gràfica dels dos primers eixos resultants de l'anàlisi de components principals, sobre els que es diferencien els tipus de sediments i en el que s'hi han superposat les variables. *First two axes resulting from principal component analysis, showing differentiation of sediment types. Variables have been superposed.*

Variable	Mitja	Desviació estàndart	Coeficient variació	Valor mínim	Valor màxim
Graves	10,99	23,82	2,16	0,00	84,94
Arenes	88,08	23,51	0,26	15,06	99,76
Lutites	0,93	0,66	0,71	0,00	3,51
Sorting	1,37	0,18	0,13	1,13	2,15
Skewness	0,16	0,20	1,22	0,04	0,75
Kurtosis	0,23	0,06	0,27	0,03	0,38
$CaCo_3$	80,10	11,16	0,14	39,50	93,50
Foraminífers	5,60	7,24	1,29	0,00	28,06
Bivalves	4,07	3,42	0,84	0,02	18,71
Gasteròpodes	0,69	0,97	1,41	0,00	4,82
Briozous	0,85	1,49	1,75	0,00	6,99
Escafòpodes	0,01	0,04	3,56	0,00	0,25
Equínids	0,62	0,63	1,03	0,00	3,12
Restes vegetals	0,24	0,86	3,53	0,00	5,96
Restes antròpics	1,07	1,32	1,23	0,00	5,52
Serpúlids	0,02	0,07	3,45	0,00	0,36
Algues	0,35	0,76	2,13	0,00	2,88
Ostràcodes	0,14	0,41	2,96	0,00	2,54
Carbó	0,02	0,06	2,58	0,00	0,30
Espícules	0,04	0,08	1,84	0,00	0,33
Quars	0,00	0,01	4,73	0,00	0,05
Dents	0,00	0,00	5,43	0,00	0,01
Litoclastes calcaris	29,61	30,61	1,04	0,48	99,47
Altres roques	0,08	0,43	5,43	0,00	3,16
Bioclastes indif.	56,49	26,48	0,47	0,04	89,35

Taula 2. Paràmetres estadístics elementals de les variables analitzades pel total de les mostres estudiades expresades en percentatge en pes.
Elementary statistical parameters for all samples studied, expressed as % weight.

*	For	Biv	Gas	Bri	Equ	R.v	R.a	Alg	Ost	Esp	Ser	Cal	A.r	B.i
Composició total	5,6	4,1	0,7	0,9	0,6	0,2	1,1	0,4	0,1	0,0	0,0	29,7	0,0	56,5
Fàcies														
Graves terrígenes	0,3	1,2	0,2	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	95,4	0,5	1,8
Arenes terrígenes	2,2	8,4	1,4	0,5	0,8	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	59,2	0,0	26,9
Arenes bioclàstiques:														
- amb foraminífers	20,0	7,4	2,8	5,1	1,6	0,1	0,3	0,5	1,2	0,2	0,1	3,3	0,0	57,3
- indiferenciades	14,7	4,5	0,8	1,6	1,2	0,0	0,4	0,5	0,1	0,0	0,0	7,1	0,0	68,9
- terrígenes	3,1	3,3	0,3	0,3	0,4	0,3	1,7	0,4	0,0	0,0	0,0	20,2	0,0	69,9

* **For**: foraminífers; **Biv**: bivalves; **Gas**: gasteròpodes; **Bri**: briozous; **Equ**: equínids; **R.v**: restes vegetals; **R.A**: restes antròpiques; **Alg**: algues rodofícies; **Ost**: ostràcodes; **Esp**: espícules; **Ser**: serpúlids; **Cal**: litoclastes calcaris; **A.r**: fragments d'altres roques; **B.i**: bioclastes indiferenciats.

Taula 3. Composició mitja expresada en percentatge de pes dels sediments del litoral mallorquí i de les cinc fàcies diferenciades.
Mean composition (% weight) of sediments of the Majorcan coastland and of the five differentialed facies.

tatges quasi despreciables els altres grups biològics d'entre els quals destaquen ostràcodes, espícules d'esponja i serpúlids.

Les restes antròpiques són relativament abundants amb percentatges que en alguns casos poden superar el 2%, destacant dins d'aquestes els fragments de vidre i els materials de construcció. També són abundants les restes vegetals que corresponen pràcticament en la seva totalitat a restes morts de fanerògames marines (*Posidonia oceanica*).

Comentari apart mereix el grup, o variable, més representada, els bioclastes indiferenciats amb valors que superen fàcilment el 50%. Els bioclastes indeferenciats corresponen a fragments esquelètics d'organismes, que pel método tradicional de contatge (la lupa binocular) és impossible atribuir a cap grup específic degut al elevat grau d'abrasió que presenten. Observacions puntuals realitzades per altres mitjans (microscopia amb l'observació de la microestructura) permeten atribuir la major part d'aquests grans al macrogrup dels mol·luscs. De totes maneres, encara que la presència important d'aquesta variable de bioclastes indiferenciats ens encobreixi parcialment la composició del sediment és una important dada a tenir present en el moment d'estudiar l'hidrodinamisme d'una platja, doncs uns valors més elevats de bioclastes indiferenciats implicaran un major grau d'abrasió del grans i per tant un major hidrodinamisme.

Contingut en carbonats dels sediments de platja

El percentatge en pés de carbonats és molt elevat (taules 1 i 2), amb uns valors mitjans de 80.10%, amb uns màxims de 93.50% i uns valors mínims de

39.50%. La desviació stàndart és de 11.16%.

La major part de les partícules carbonatades que es troben en els sediments analitzats són d'origen biogènic, formades per closques i esquelets d'organismes invertebrats. A més d'aquests bioclastes cal destacar la presència de partícules terrígenes, que en la seva major part tenen una composició carbonatada (calcàries i dolomies), doncs la major part dels materials que afloren a Mallorca són diòsits eminentment calcaris (I.G.M.T.E. en premsa).

Anàlisi de les fàcies sedimentàries

En base a les dades obtingudes a l'anàlisi de les mostres, tant texturals com de composició, i amb l'ajut del tractament estadístic, s'han diferenciat una sèrie de tipus de sediments que han estat agrupats en fàcies i subfàcies, segons llurs característiques.

L'anàlisi factorial realitzat sobre totes les mostres recollides ha permès distingir una sèrie de factors que expliquen la variança total de les mostres. El factor 1 explica un 22.70% de la variança i defineix un gradient de textura. El factor 2 explica un 13.33% de la variança i representa la composició biogènica. Ve definit de forma positiva principalment, pels briozous, foraminífers, ostràcodes i espícules, i de forma negativa, pels restes antròpics, quars i *skewness*. La representació de les mostres sobre els plans definits pels diferents factors (Fig. 1) agrupa les mostres en tipus de sediments han donat lloc a definir una sèrie de fàcies i subfàcies sedimentàries que estan íntimament lligades a les característiques geomorfològiques del litoral.

Fàcies de graves terrígenes

La granulometria d'aquesta fàcies (Fig. 3) es caracteritza per presentar un fort predomini de les graves, ja que el percentatge mig d'aquesta fracció és del 73,80%. Les arenes presenten un percentatge mig del 26.10%, i les lutites es troben en una proporció molt baixa, només 0.10%.

El seu contingut en carbonat correspon a un promig del 73,8% i és el més baix comparat amb les altres fàcies que han estat diferenciades. Aquest oscil·la entre un mínim del 48.5% i un màxim del 93.5%.

La composició d'aquestes graves es pot considerar litoclàstica, ja que aquesta fracció representa el 95.9% de la composició total (Fig. 3). A més, els litoclastes calcaris formen el 95.4% d'aquesta fracció. Aquesta abundància de litoclastes calcaris és la principal característica que diferencia aquesta fàcies de les altres, juntament amb la grossària de gra. Cal destacar en aquesta fàcies la presència de litoclastes no calcaris a mostres situades a l'extrem W de la Serra de Tramuntana. Es tracta de fragments de roques silícies del Buntsandstein (coincidint amb l'aflorament d'aquests materials).

La fracció biogènica representa un promig del 4.12% de la composició total d'aquesta fàcies. Predominen els bioclastes indiferenciats (1.8%) i els restes de bivalves (1.2%), encara que ambdós ostenten els valors més baixos que trobam entre totes les fàcies considerades (Taula 3).

Les corbes acumulatives de les mostres que formen aquesta fàcies són corbes parabòliques, que es caracteritzen per presentar una forma còncava i un major pendent a l'interval de grossàries que corresponen als materials més gruixats (Fig. 3).

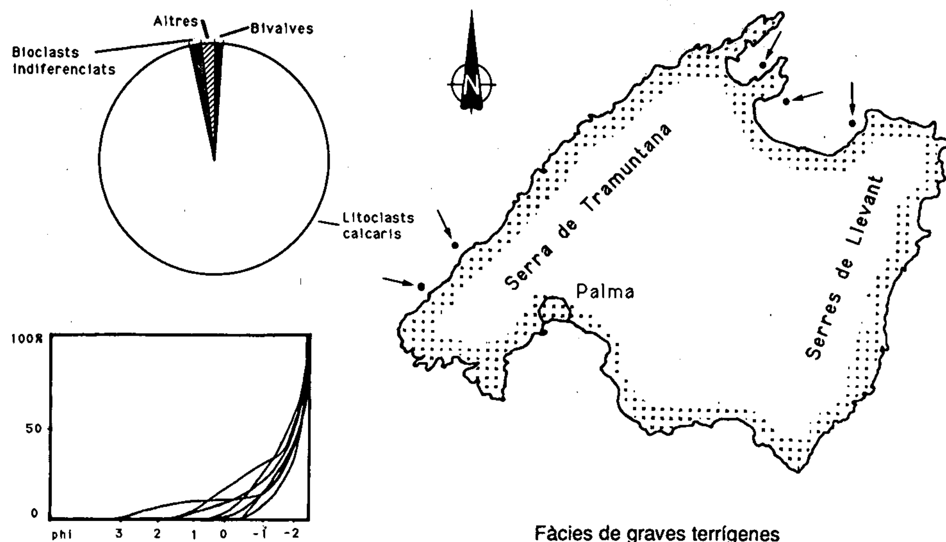


Fig. 3. Localització, composició (valors mitjans) i textura (corbes acumulatives) de la fàcies de graves terrígenes.
Location, composition (mean values) and texture (cumulative curves) of the facies of terrigenons gravels.

Aquesta fàcies està localitzada principalment al peu de la Serra de Tramuntana i al sector septentrional de les Serres de Llevant (Fig. 3), la qual cosa demostra la forta relació que es dóna entre les fàcies sedimentàries i les característiques geomorfològiques del litoral. En aquest cas, la presència de les dues formacions muntanyoses més important de l'illa dóna lloc a un aport de material terrigen que va a formar part del sediment de les platges.

A la representació en el pla dels dos factors que obtenim de l'anàlisi factorial (Fig. 2) es pot observar la clara separació d'aquesta fàcies respecte de les altres i la seva situació a un extrem de l'eix que representa el gradient de textura.

Fàcies d'Arenes Terrígenes

Es tracta d'arenes que presenten una grossària de gra que va d'arena gruixada a arena molt gruixada. La fracció arena predomina dins d'aquesta fàcies (87.4%), però també destaca el seu percentatge de graves, que és el més elevat entre totes les fàcies arenoses (12%). Les lutites presenten valors molt baixos, amb una mitja de 0.6%.

A la composició d'aquesta fàcies predomina la fracció litoclàstica (59.2%) i, dins aquesta pràcticament només es troben fragments de roques calcàries. Els altres components litoclàstics (carbó, quars, etc) estan en una proporció ínfima (Fig.4).

La fracció bioclàstica representa el 40% de la composició total. El

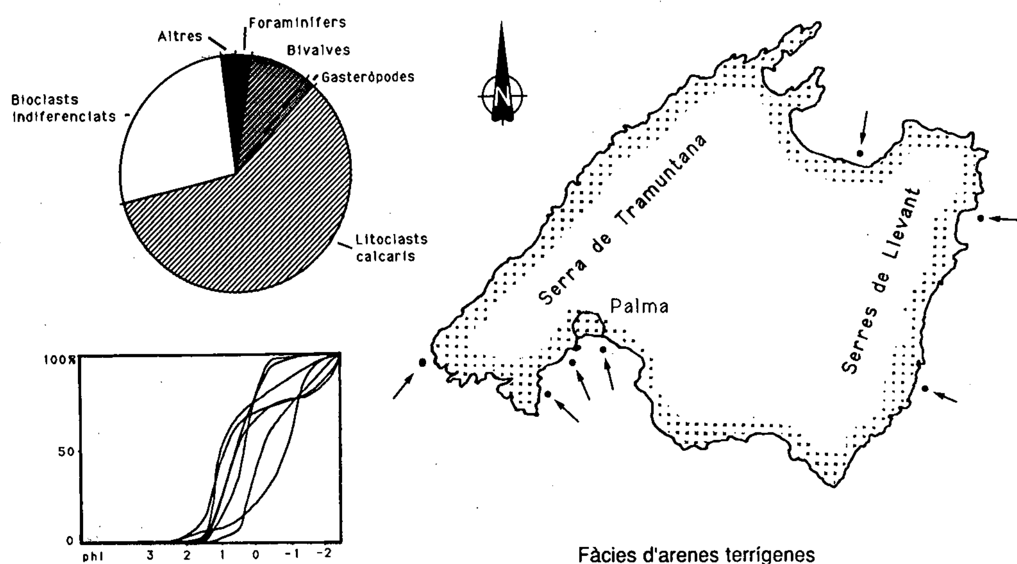


Fig. 4. Localització, composició (valors mitjans) i textura (corbes acumulatives) de la fàcies d'arenes terrígenes.
Location, composition (mean values) and texture (cumulative curves) of the facies of terrigenous sands.

component més important són els bioclastes indiferenciats (27%), amb diferència sobre els altres components. Els següents són els bivalves (8.4%), foraminífers (2.2%) i gasteròpodes (1.4%). Els altres bioclastes es troben en proporcions inferiors al 1% (Taula 3).

El contingut en carbonat també és el més baix que trobam entre totes les fàcies arenoses diferenciades, amb un promig del 75%. Això és degut a l'elevada proporció de litoclastes dins la composició, ja que encara que en la seva major part es tracti de fragments de roques calcàries, aquestes rebaixen el percentatge carbonatat i donen un contingut en $CaCO_3$ menor que els elements biogènics.

El contingut en carbonat oscil·la entre un valor màxim de 89.0% i un mínim del 39.5%.

Aquesta fàcies d'arenes terrígenes està localitzada principalment en el sector septentrional de la Serra de Tramuntana i punts concrets de les badies de Palma i Alcúdia, i de la Marina de Llevant, en zones properes a la desembocadura de torrents (Fig. 4).

A la representació en el pla dels dos factors que obtenim de l'anàlisi multivariant (Fig.2) es pot observar que aquesta fàcies es sitúa, a l'eix que representa el gradient de textura, més separada de l'extrem, si comparam amb la fàcies de graves terrígenes.

Respecte a l'eix que representa la composició biogènica les mostres estan situades a l'extrem negatiu, ja que la seva composició és majoritariament litoclàstica.

Fàcies d'Arenes Bioclàstiques

La textura d'aquesta fàcies es caracteritza per una grossària de gra que va d'arena mitja a fina. Presenta una proporció mitja de graves de 0.9%, d'arenes d'un 97.8% i de lutites d'un 1.3%.

El seu contingut en carbonats és el més alt comparat amb la resta de fàcies, amb un promig de 83.23%. Oscil·la entre un valor màxim de 92.6% i un mínim del 57.5%.

La composició d'aquesta fàcies és eminentment bioclàstica (89%). Els foraminífers destaquen per la seva abundància (12.6%), seguits dels bivalves (5%) i els briozous (2.3%). Però el component predominant són els bioclastes indiferenciats, car representen més del 65% del total.

La fracció litoclàstica (11%) està formada, pràcticament en la seva totalitat, per fragments de roques calcàries (10%); la resta són grans de quars i carbó.

Els restes antròpics representen el 0.8% de la composició total, que és el percentatge més elevat comparat amb les altres dues fàcies descrites anteriorment.

Aquesta fàcies d'arenes bioclàstiques presenta una distribució molt més important que les anteriors i es localitza principalment a la badia de Palma, la Marina de Llucmajor i la de Llevant.

L'anàlisi multivariant efectuat ha permès diferenciar dins d'aquesta fàcies una sèrie de classes a les que hem denominat subfàcies.

A la representació en el pla s'observa que aquesta fàcies d'arenes bioclàstiques es sitúa més allunyada de les textures gruixades que les fàcies anteriors, i cap els valors positius respecte de l'eix que determina la composició biogènica.

Les subfàcies diferenciades són les següents: Subfàcies d'arenes bioclàstiques amb terrígens, Subfàcies d'arenes bioclàstiques amb foraminífers i Subfàcies d'arenes bioclàstiques indiferenciades.

Subfàcies d'Arenes Bioclàstiques amb Terrígens

Aquesta subfàcies es caracteritza per presentar un elevat contingut en litoclastes, més del 20% de la composició total, encara que el component predominant són els bioclastes indiferenciats, igual que succeeix a les altres subfàcies d'arenes bioclàstiques que hem diferenciat (Fig. 5).

La composició terrigena està formada en un 20% per litoclastes calcaris, i la presència d'altres elements litogènics és pràcticament insignificant.

La composició biogènica (78%) està dominada, com ja hem dit abans, pels bioclastes indiferenciats, que representen el 70%. També trobam foraminífers i bivalves amb una proporció del 3% aproximadament cadascun d'ells, i la resta de components apareixen en proporcions inferiors al 1% (Taula 3).

Els restes antròpics representen el 1.7% de la composició total.

Pel que fa a la textura, es tracta d'arenes amb una grossària de gra entre arena mitja i arena gruixada. Les arenes representen el 97%, i el contingut de $CaCO_3$ oscil·la al voltant del 82%.

Aquesta subfàcies es localitza principalment a la zona SO i a la Badia de Palma, i a les zones N i E de l'illa (Fig.5).

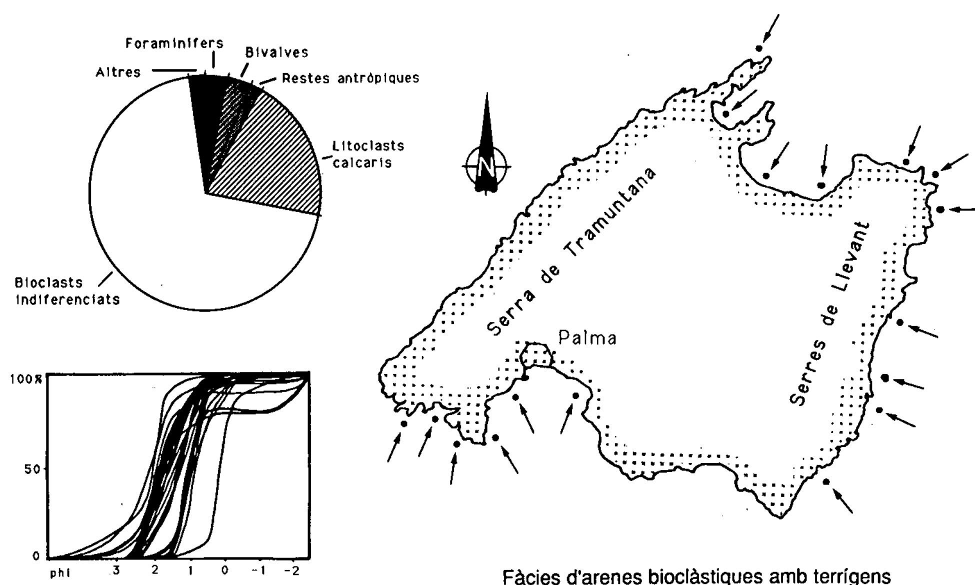


Fig. 5. Localització, composició (valors mitjans) i textura (corbes acumulatives) de la fàcies d'arenes bioclàstiques amb terrígens.
Location, composition (mean values) and texture (cumulative curves) of the facies of bioclastic and terrigenous sands.

Subfàcies d'Arenes Bioclàstiques amb Foraminífers

Es caracteritza aquesta subfàcies per presentar la proporció de bioclastes més elevada de totes les fàcies i subfàcies estudiades, ja que representa més del 96% de la composició total. Dins aquests, també els foraminífers aconsegueixen el seu valor més alt, amb un percentatge del 20%. Els bioclastes indiferenciats representen al 57%, i la resta dels components biogènics són fragments de bivalves, gasteròpodes i briozous (Fig. 6).

Subfàcies d'Arenes Bioclàstiques indiferenciades

Es tracta d'arenes amb una elevada proporció de bioclastes indiferenciats (69%). La resta de la composició bioclàstica està formada (Fig. 7) per foraminífers (14.7%), bivalves (4.5%), briozous (1.6%).

Els litoclastes representen el 7.6% de la composició total, i majoritariament es tracta de litoclastes calcaris (Taula 3).

La textura també es caracteritza per una grossària de gra que va d'arena mitja a fina. El contingut en $CaCO_3$ oscil·la al voltant del 80%.

A la representació de l'anàlisi multivariant (Fig.2) s'observa que aquesta subfàcies està situada enmig de les altres dues subfàcies a l'eix que defineix la composició biogènica.

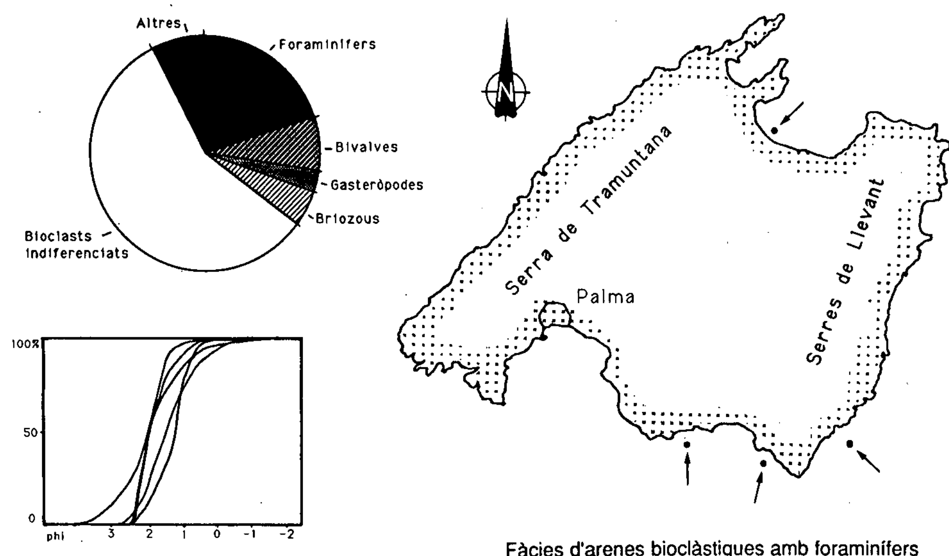


Fig. 6. Localització, composició (valors mitjans) i textura (corbes acumulatives) de la fàcies d'arenes bioclàstiques amb foraminífers.
Location, composition (mean values) and texture (cumulative curves) of the facies of bioclastic sands with Foraminifera.

Aquesta subfàcies d'arenes bioclàstiques indiferenciades es localitza principalment a la costa E de Mallorca (Fig. 7).

Discussió i conclusions

La sedimentació a les platges del litoral mallorquí és eminentment arenosa carbonatada. La mida arena predomina a la majoria de les platges estudiades, excepte a algunes on les graves són predominants.

Dins la fracció arena, la mida de gra varia des d'arena molt gruixada a arena molt fina, de forma inversament proporcional a la variació del contingut bioclàstic: les arenes gruixades o molt gruixades presenten un contingut bioclàstic baix (arenes terrígenes). En canvi, les arenes amb mida de gra de mig a fi, presenten un contingut bioclàstic major (arenes bioclàstiques).

A les mesures efectuades sobre el pendent del perfil de la platja s'ha observat la relació entre la mida de gra i el pendent, amb una disminució de la mida de gra amb el pendent. Així, presenten una mitjana de 7° les platges amb arena fina, fins a una mitja de 10.5° per a les platges amb arena gruixada.

Les graves dominen a aquelles platges on llur situació està relacionada amb relleus importants (Serra de Tramuntana i Serres de Llevant). Aques-

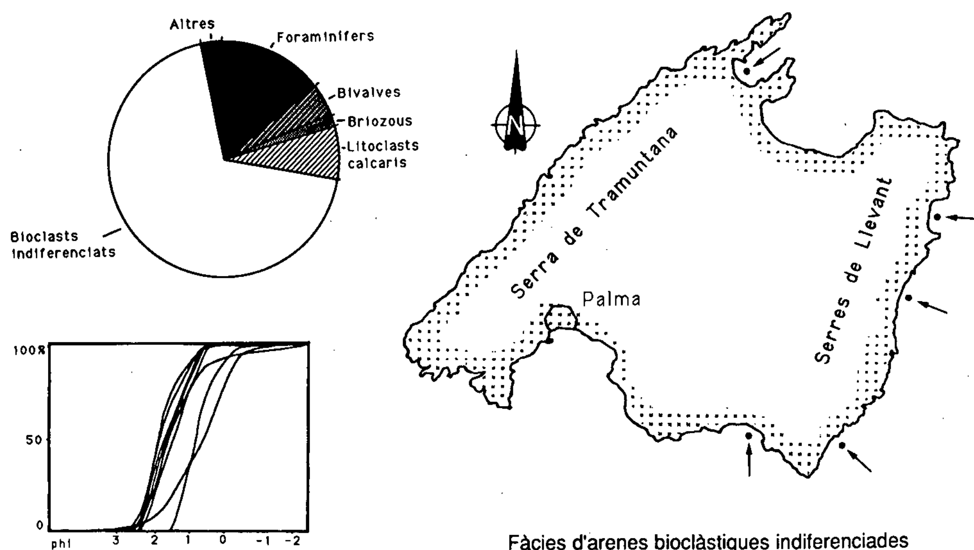


Fig. 7. Localització, composició (valors mitjans) i textura (corbes acumulatives) de la fàcies d'arenes bioclàstiques indiferenciades.
Location, composition (mean values) and texture (cumulative curves) of the facies of undifferentiated bioclastic sands.

tes graves estan formades per fragments de roques calcàries i dolomítiques procedents de l'erosió dels materials que conformen els relleus principals de l'illa. Quan aquests materials arriben a la costa, romanen a la platja i sofreixen desgast per l'acció abrasiva de les onades, que els confereix la seva típica forma arrodonida.

Les lutites presenten un percentatge molt baix a tot el litoral mallorquí, degut al fort hidrodinamisme de la zona litoral que posa en suspensió la fracció lutítica que és transportada fins a zones més profones.

La composició de les platges mallorquines és majoritàriament bioclàstica. Aquesta composició biogènica és difícil de quantificar per grups (més del 50% són bioclastes indiferenciats) degut a la seva mida de gra, predominantment d'arena mitja a fina, i a l'elevat grau d'abrasió pel retreballament que presenten degut a la pròpia dinàmica litoral.

A més dels bioclastes indiferenciats, el component més abundant són els foraminífers, seguits dels bivalves. Els foraminífers es troben sense fragmentar, mentre que els bivalves la major part estan trencats. Un fet a destacar és la presència, en un percentatge superior al 1%, de restes d'origen antròpic (petits fragments de vidres i materials de construcció principalment) en el total dels sediments estudiats, i que de forma més

important es troben a les platges properes als nuclis de població.

La composició litogènica es pot dir que està pràcticament formada en la seva totalitat per fragments de roques calcàries. La resta de litoclastes (carbó, quars i altres roques) només es troben en proporcions inferiors al 1%. Aquesta proporció tan elevada de litoclastes calcaris es deguda a que els afloraments majoritaris a les zones aixecades corresponen als materials calcaris i dolomítics mesozoics, recoberts per una cobertora calcarenítica miocena, i la litologia dels sediments guarda una estreta relació amb els materials del postpais.

L'anàlisi del contingut en carbonats està relacionat amb una elevada productivitat orgànica i és inversament proporcional a l'aport de materials terrígens, que està normalment determinat pel clima i les característiques tectòniques en les que se situa la zona litoral i la plataforma marina. En el nostre cas però, encara que a grans trets aquest fet és vàlid, s'ha de tenir present que la major part dels aports terrígens litoclàstics corresponen a fragments de tipus carbonatat (calcàries juràssiques i miocenes) que són els que conformen la major part de la morfologia de Mallorca.

Així doncs, l'elevada proporció de bioclastes dins la composició és la raó per la que els sediments presenten un contingut en $CaCO_3$ molt elevat, afavorit a més pel fet de que els litoclastes estiguin formats per fragments de roques majoritàriament carbonatades.

Mitjantçant el tractament estadístic i en base a criteris texturals i de composició, s'han diferenciat tres fàcies sedimentàries que són les següents: 1) Fàcies de graves terrígenes, 2) Fàcies d'arenes terrígenes, 3) Fàcies d'arenes bioclàstiques, 3.a) Subfàcies d'arenes bioclàstiques amb terrígens, 3.b) Subfàcies d'arenes bioclàstiques amb foraminífers, i 3.c) Subfàcies d'arenes bioclàstiques indiferenciades.

La primera fàcies comprèn platges amb una mida de gra gruixat (graves) on predomina l'abrasió dels materials aflorants sobre la deriva dels restes biogènics. Aquesta fàcies està intimament lligada a les característiques geomorfològiques del litoral, i als materials que conformen els penyasegats envoltants. Així, és de destacar la presència de litoclastes no calcaris que corresponen a arenisques silíciques vermelles de la fàcies Buntsandstein del Triàsic Inferior (zona d'Estellencs i Banyalbufar al SW de la Serra de Tramuntana).

En quant a les fàcies arenoses, que són dominants, es poden distingir dos tipus segons la seva composició. Una fàcies arenosa terrígena, amb arenes de gra gruixat a molt gruixat i uns percentatges elevats de litoclastes calcaris, seguides pels bioclastes indiferenciats i els bivalves. Cal destacar un component que en aquesta fàcies presenta una abundància relativament alta, per darrera dels bivalves i els foraminífers: els restes antròpics. L'altre és una fàcies d'arenes bioclàstiques, que presenta una distribució molt més important que les anteriors. Destaca pel seu alt contingut en bioclastes indiferenciats. Els principals organismes dels quals els esquelets passen a formar la major part del sediment són els foraminífers, bivalves, briozous, gasteròpodes i equínids. Els restes vegetals corresponen pràcticament en la seva totalitat a *Posidonia oceanica*, i es troben a ambdues fàcies, encara que en proporcions molt baixes.

L'origen i procedència dels sediments que composen el litoral de Mallorca sembla força clara. En base a la presència i relacions percentuals dels components bioclàstics més abundants (foraminífers, bivalves, briozous, gasteròpodes i equínids), podem dir que el principal ecosistema productor del sediment que s'acumula al litoral mallorquí són les prades de fanerògames marines (principalment *Posidonia oceanica).* Altres ecosistemes marins, com són les concrecions coral·lígenes o el maërl, contribueixen en menor importància al composició global del sediment (els restes d'algues vermelles no arriben a un 1% del total). La presència de fragments litoclastics terrígens està sempre associada amb desenbocadures de corrents hídriques continentals i amb costes amb forts penya-segats.

Amb posterioritat a la recollida de les mostres algunes platges han estat "regenerades" amb sediments procedents de la plataforma marina, per tant en aquestes (s'Arenal, Can Pere Antoni, Peguera, Ciutat Jardí, etc.) tan la textura com la composició no obeiex, des del moment de la regeneració a l'exposat en el present article, i per tant tampoc a les condicions ambientals i dinàmiques imperants a la zona.

Agraïments

Aquest treball ha estat realitzat dins l'estudi dels models bio-sedimentològics de la plataforma continental balear (TANIT DGICYT PB87-0812).

Bibliografia

Carter, R.W.G. 1988. *Coastal environments.* Academic Press. 617 pp. London

Corrales, I., Rosell, J., Sanchez, L, Vera, J.A., i Vilas L., 1977. *Estratigrafía.* Editoral Rueda. 718 pp. Madrid.

Davis, R.A. 1985. Beach and nearshore zones. In Davis, R.A. ed. *Coastal Sedimentary Environments:* 379-444. Springer Verlag New York.

Fornós, J.J. 1987. *Les plataformes carbonatades de les Balears.* Tesi doctoral. Universitat de Barcelona. 954 pp. Barcelona.

Fornós, J.J. i Pomar, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: Unidad Calizas de Santanyí ("Complejo Terminal"). In: Pomar, L, Obrador, A., Fornós, J. i Rodríguez, A. *eds. El Terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*: 177-206.

Heckel, P.H. 1972. Recognition of ancient shallow marine environments, In: Keith, J. i Henneth, W. eds. *Recognition of ancient sedimentary environments S.E.P.M. Spec. Publ.* 16: 226-286. Tulsa.

Jayappa, K.S. i Subramanya, K.R. 1991. A textural and mineralogical study of the beach sands between Talapady and Surathkal, Karnataka. *Jour. Geol. India,* 37: 151-163.

I.G.M.T.E. (en premsa). Mapa Geológico Nacional. Escala 1:50.000. Hojas: 643, 644, 645, 670, 671, 672, 698, 699, 700, 723, 724, 725 i 749. Madrid.

Pomar, L. 1991. Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea-level changes, Upper Miocene Reef

Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*, 38: 243-269.

Pyökäri, M. i Lehtovaara, J.J. 1990. Texture, composition and sedimentation of beach sands on Lagana Beach on the island of Zakynthos, Western Greece. *Z. Geomorph. N.F.*, 34(4): 459-473.

Sagga, A.M.S. 1992. The use of textural parameters of sand in studying the characteristics and depositional processes of coastal sediments south of Jeddah, Saudi Arabia. *Marine Geology*, 104: 179-186.